

# 베イズ 방법과 뮤직 알고리즘을 이용한 간섭과 잡음제거를 위한 원하는 목표물의 도래방향 추정

이 관 형\*, 강 경 식\*\*

## Direction of Arrival Estimation for Desired Target to Remove Interference and Noise using MUSIC Algorithm and Bayesian Method

Kwan-Hyeong Lee\*, Kyoung-Sik Kang\*\*

**요약** 본 논문에서는 공간에서 원하는 신호를 추정하기 위해서 도래방향 MUSIC 공간 스펙트럼 알고리즘에 대해서 연구한다. 본 연구에서 제안하는 MUSIC 공간 스펙트럼 알고리즘은 모델 오차와 베イズ 정리를 적용한 방법으로 목표물의 위치를 정확히 추정한다. 적응 배열 안테나를 사용한 수신기의 배열 응답 벡터는 베イズ 방법을 이용하고 모델 오차방법으로 수신 신호의 가중치를 갱신하여 원하는 목표물의 도래 방향을 정확히 추정한다. 본 연구에서 원하는 도래방향 목표물의 신호 추정은 입사 신호의 간섭과 잡음을 제거한 후 배열 응답 벡터를 신호 공분산 행렬의 가중치에 적용한다. 모의실험을 통해서 본 논문에서 제안한 방법과 기존의 도래방향 알고리즘을 비교 분석한다.

**Abstract** In this paper, we study for direction of arrival MUSIC spatial spectrum algorithm in order to desired signal estimation in spatial. Proposal MUSIC spatial spectrum algorithm in paper use model error and Bayesian method to estimation on correct target position. Receiver array response vector using adaptive array antenna use Bayesian method, and target position estimate to update weight value with model error method. Target's signal estimation of desired direction of arrival in this paper apply weight value of signal covariance matrix for array response vector after removing incident signal interference and noise, respectively. Though simulation, we analyze to compare proposed method with general method.

**Key Words** : Model Error, Bayesian Method, MUSIC Spectrum, Direction of Arrival

### 1. 서론

원하는 목표물에 대한 도래 방향 추정 기술은 많은 연구가 진행되어 왔다[1]. 원하는 목표물의 추정 기술은 레이더, 소나, 의료공학, 이동통신 등에 적용되는 중요한 기술이다. 목표물의 추정 정보는 거리, 각도, 속도등을 추정하기 위해서는 원하는 신호를 정확히 분석하고 해석하여야 한다. 또한 원하는 목표물 추정은 목표물 구분 능력이 시스템의 중요한 핵심이다. 일반적으로 무선 공간에서 원하는 목표물의 우수한 도래방향

추정 알고리즘은 신호의 부 공간 기법을 사용하는 MUSIC과 ESPRIT 알고리즘이다[2,3]. 부 공간 기법은 신호를 신호 부공간과 잡음 부공간으로 구분하여 목표물을 추정한다. 일반적인 무선 환경은 다중경로가 발생하여 상관성 신호가 안테나에 수신한다. 수신기에서 상관성 신호가 입사 할 경우 고 분해능 알고리즘과 적응 배열 안테나의 빔 형성 기법을 적용하여도 원하는 신호의 도래방향 분해능이 감소한다.

본 연구에서는 수신 안테나의 상관성 신호가

\* Corresponding Author :Division of Electrical, Electronic and Communication Engineering, Daejin University(khlee@daejin.ac.kr)

\*\* Dept.Military Info-Communication Engineering Chungbuk Health&Science University(kang@chsu.ac.kr)

Received October 6, 2015

Revised October 10, 2015

Accepted October 15, 2015

입사할 경우 원하는 목표물을 정확히 추정하기 위한 MUSIC 공간 스펙트럼 방법을 제안한다. 제안 방법은 원하는 목표물을 정확히 추정하기 위해서 MUSIC 공간 스펙트럼을 이용한다. 원하는 목표물의 추정하기 위한 모델 오차 방법을 이용한 고 분해능 알고리즘으로 공분산 행렬 값을 갱신한다. 그리고 베이지 정리(Bayesian method)를 적용시켜 배열 응답벡터를 정확히 추정한다[4]. 본 논문에서는 원하는 목표물을 추정하기 위해서 모델오차 방법으로 공분산 행렬의 가중치를 갱신하고 베이지 방법을 이용하여 배열 응답벡터를 추정한다. 그리고 MUSIC 공간 스펙트럼을 이용하여 원하는 목표물 신호를 정확히 추정한다. 모의실험을 통하여 본 연구에서 제안된 방법과 기존 방법을 성능 비교 분석한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 도래 방향 추정 모델 오차에 대해서 서술하고, 3장에서는 MUSIC 공간 스펙트럼 방법을 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 시스템의 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 도래방향 추정 모델 오차

무선 공간에서 안테나 시스템은  $M$ 개의 선형 배열 안테나, 배열 소자 사이의 간격은 반 파장  $d$ , 안테나에  $k$ 개의 신호가 입사한다. 수신안테나에 입사하는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$X(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서  $s(t)$ 는 배열 안테나의 입사하는 신호,  $n(t)$ 는 잡음이다. 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.  $M$ 번째 안테나 소자의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_m(t) = \sum_{m=1}^p a(\theta_m) s_m(t) + n_m(t) \quad (2)$$

여기서  $a(\theta)_m$ 는 지향 벡터이다. 여기서,  $s_m(t)$  ( $m = 1, 2, \dots, p$ )는 수신 신호이다. 배열 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$X(t) = CAA(\theta) + N(t) \quad (3)$$

여기서  $X(t)$ 는 수신 신호 벡터,  $C$ 는 상호 결합 행렬,  $A$ 는 복소 대각 행렬,  $S(t)$ 는 신호 벡터,  $A(\theta)$ 는 배열 지향 행렬,  $N(t)$ 는 가우스 잡음이다.  $m$ 번째 안테나 소자의 출력은 오차의 다른 원인이 없을 때 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X_m(t) = \sum_{i=1}^M C_{m,i} S(t) + N(t) \quad (4)$$

여기서  $C_{m,i}$  ( $i, m = 1, 2, \dots, M$ )은 상호 결합 인자 및  $m$ 번째 센서에서  $i$ 번째 센서의 상호 결합 효과이다. 따라서 배열 출력은 다음과 같이 주어진다.[4-5]

$$X(t) = CA(\theta) + N(t) \quad (5)$$

여기서  $C$ 는 상호 결합 행렬을 나타낸다. 오차의 유형이 모두 고려될 때, 배열 출력은 다음과 같다.

$$X(t) = CAA(\theta) + N(t) \quad (6)$$

신호가  $M$ 개 센서로 구성된 안테나 센서에 수신되면, 배열 출력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E[XX^H] = A(\theta)R_{xx}A^H(\theta) + \sigma^2 I \quad (7)$$

여기서  $R_{xx}$ 는 신호 공분산 행렬,  $( )^H$ 는 허미트 행렬이다. 부 공간 도래 방향 추정 방법에서, 배열 출력 공분산 행렬  $R$ 이 두 부 공간으로 분리될 수 있도록 고유치 분해를 사용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E_s \gamma_s E_s^H + \sigma^2 E_n E_n^H \quad (8)$$

여기서  $E_s, E_n$ 은 각각 신호 부공간과 잡음 부공간이다. 도래 방향 추정 MUSIC 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(\theta, \mu) = \frac{1}{A(\theta, \mu) E_n^H(\mu) E_n(\mu) A^H(\theta, \mu)} \quad (9)$$

여기서  $\mu$ 는 가상 추정 신호 배열 응답이고  $\mu_0$ 는 이상적인 신호 배열 응답이다. 모델 오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu - \mu_0 = \sigma_u \quad (10)$$

모델 오차에 의한 도래 방향 오차의 평균 자승(Mean-Square)은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $L$ 은 신호의 개수이다

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \sigma_i^2} \quad (11)$$

빔형성기의 출력신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = W^H X(t) \quad (12)$$

여기서  $W$ 는 가중치,  $()^H$ 는 허미트 행렬이다. 갱신 가중치를 이용하여 원하는 신호를 추정하기 위한 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E[x(t)x(t)^H] \quad (13)$$

$$= A R_s A^H + R_N$$

여기서  $A = [a_1(\theta), \dots, a_K(\theta)]$ ,  $R_s$ 은 신호 공분산 행렬,  $R_N$ 는 잡음 공분산 행렬이다.

### 3. MUSIC 공간 스펙트럼

공분산 행렬의 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$W = R^{-1} A (A^H R^{-1} A)^{-1} \quad (14)$$

베이즈 정리(Bayesian method)를 적용한 배열 응답 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta_i | X(t)) = \frac{\sum_{i=1}^K a(\theta_i) p(X(t) | \theta_i)}{\sum_{j=1}^p a(\theta_j) p(X(t) | \theta_j)} \quad (15)$$

식(15)의 배열 응답 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^K a(\theta_i) p(\theta_i | X(k)) \quad (16)$$

모델오차와 베이즈 정리를 적용한 MUSIC알고리즘의 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{A(\theta, \mu) W W^H A(\theta, \mu)^H}{A(\theta, \mu) W E_n E_n^H W^H A(\theta, \mu)^H} \quad (17)$$

### 4. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통하여, 본 연구에서 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 기존 알고리즘은 MUSIC을 사용하였다. 모의실험 조건은 안테나 배열 개수 9개, 신호 대 잡음비 20dB, 안테나 간격은 반 파장, 원하는 신호 개수는 3개로 설정하였으며 원하는 목표물의 수신신호는 [10o, 20o, 30o]로 설정하였다. 스냅샷(snapshot)은 50회 시행하였다. 그림1은 본 연구에서 기존 MUSIC 알고리즘으로 [10o, 20o, 30o]에서 원하는 목표물의 신호 도래 방향을 모두 추정하였다. 목표물을 2개만 추정하여 분해능이 좋지 않음을 나타내었다. 즉 1개의 목표물을 추정하지 못하여 원하는 시스템의 성능을 만족하지 못한다. 그림 2는 베이즈 방법과 MUSIC알고리즘을 사용하여 [10o, 20o, 30o]에서 원하는 목표물의 신호 도래방향을 추정한 그래프이다. 3개의 원하는 목표물을 추정하였지만, [20o, 30o]에서 목표물의 도래 방향 추정이 정확하지 않은 것을 알 수 있다. 약 3o의 오차가 발생하였다. 그림3은 본 논문에서 제안한 MUSIC 알고리즘으로 [10o, 20o, 30o]에서 원하는 목표물의 도래방향을 추정한 그래프이다. 그림2의 그래프에서 2개의 목표물 추정오차를 정확히 계산하여 원하는 목표물 3개의 도래방향을 모두 정확히 추정하였다.

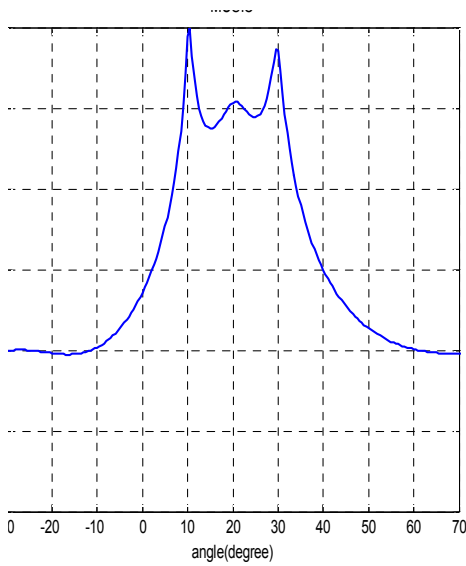


그림 1. 기존 알고리즘 도래방향 추정  
Fig. 1. DOA Estimation of General Algorithm

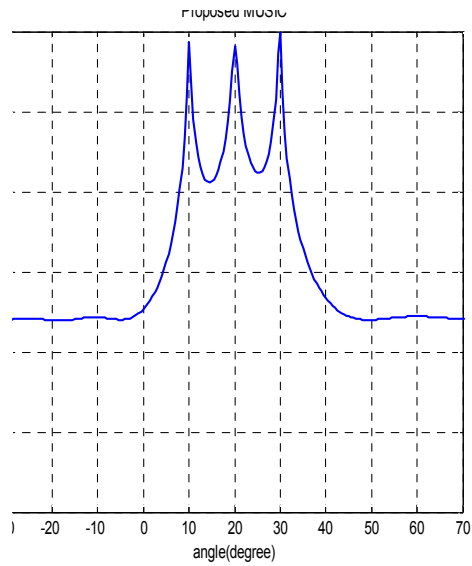


그림 3. 제안 알고리즘 도래방향 추정  
Fig. 3. Estimation DOA of Proposal Algorithm

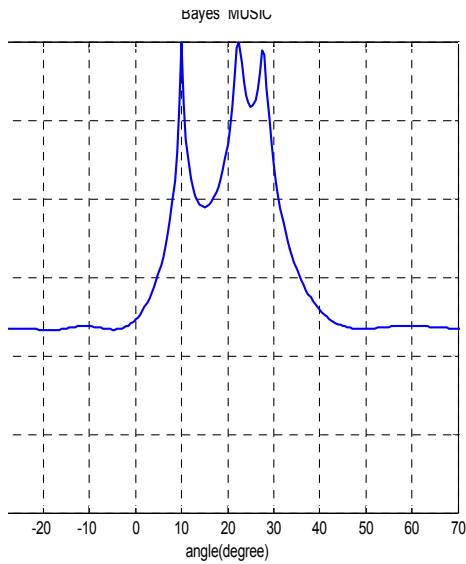


그림 2. 베이지 뮤직 도래방향 추정  
Fig. 2 DOA Estimation of Bayesian MUSIC

## 5. 결론

본 연구에서는 상관성 무선 통신에서 신호가 수신 안테나 시스템에 입사할 경우 원하는 목표물의 도래방향을 추정하는 방법에 대해서 연구하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 MUSIC 공간 스펙트럼의 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 베이지 정리와 모델 오차 방법을 결합한 형태이다. 모의실험에서 원하는 목표물의 도래방향 신호가 [10o, 20o, 30o]인 경우에 기존 방법은 2개의 목표물 신호를 추정하였다. 베이지 정리와 MUSIC 알고리즘을 적용한 방법에서는 3개의 원하는 목표물을 추정하였지만 2개의 목표물에서 추정오차가 발생하였다. 제안한 알고리즘으로는 원하는 목표물을 모두 정확히 추정하였다. 본 연구에서 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 분해능과 목표물 추정 오차가 감소하여 기존의 알고리즘보다 우수함을 입증하였다.

REFERENCES

- [1] B. Allen and M. Ghavami, “Adaptive Array System”, Wiley, Feb, 2005.
- [2] F.Li and R.J.Vaccaro, Sensitivity analysis of DOA estimation algorithms to sensor errors, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, IEEE Press(NewYork), pp.708-717, Vol.28, No.3, March, 1992
- [3] N. Le Bihan, S. Miron, and J.I Mars, “ MUSIC Algorithm for vector-sensors Array using Biquaternions”, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 55, No. 9, Sept, 2007.
- [4] B.Freidlander, Sensitivity analysis of the maximum likelihood direction finding algorithm, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, IEEE Press,Vol.26, No.6, pp.953-968, May, 1994
- [5] Kang Kyoung Sik, “A Study on Adaptive Sparse Matrix Beamforming Algorithm of Error Beam Steering Vector for Target Estimation”, The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.7, No. 2, 2014.
- [6] Gwan U Ga, Sung Min Ham and Kwan Hyeong Lee, “A Study on Angle Spectrum of Arrival using RMS Model Errors Effects”, The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.6, No. 3, 2013.
- [7] Kwan Hyeong Lee, “A Study on Efficient Threshold Level for False Alarm Probability Decrease”, The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.8, No. 2, 2015.

저자약력

**Kwan-Hyeong Lee**

**[Regular member]**



- Aug. 2004 : Cheongju Univ, Dept. of Electronic Eng., PhD
  - Mar.2007 ~ Feb.2010 : Agency for Defense Development
  - Mar. 2010 ~ Current : Division of Electrical, Electronic and Communication Engineering, Daejin University, Professor
- Wireless Communication, Tracking Position

<Research Interests>

**Kyoung-Sik Kang**

**[Regular member]**



- Feb. 1983 : Cheongju Univ., Dept. of Electronic Eng, BS
- Feb. 1989 : Hanyang Univ., Dept. of Electronic and Telecomm. Eng., MS
- Aug. 1997 : Cheongju Univ, Dept. of Electronic Eng., PhD
- Mar. 1993 ~ current : Dept of Military Info-Communication Eng Chungbuk Health& Science University, Professor

<Research Interests>

Wireless Communication, Coding Theory, Tracking Position